

VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNGEN
DER LEISTUNGSFÄHIGKEIT
DES EIN- UND ZWEIDÜSENKÜHLSYSTEMS
VON ZAHNÄRZTLICHEN TURBINEN

KLAUS HAHNE

1976

Aus der Poliklinik für Zahnerhaltungskunde
der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der
Johannes Gutenberg-Universität Mainz

VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNGEN
DER LEISTUNGSFÄHIGKEIT
DES EIN- UND ZWEIDÜSENKÜHLSYSTEMS
VON ZAHNÄRZTLICHEN TURBINEN

Inauguraldissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der Zahnheilkunde der
Johannes Gutenberg-Universität Mainz,

den Medizinischen Fachbereichen

vorgelegt von

KLAUS HAHNE

aus Wenzen

Mainz 1975

Fachbereichsdekan:	Professor Dr. K. Fuhr
Referent:	Professor Dr. Dr. W. Ketterl
Korreferent:	Professor Dr. A. Fessler
Tag der mündlichen Prüfung:	28. Januar 1976

Gesamtherstellung



DITTERS BÜRODIENST

6501 HEIDESHEIM/RHEIN

AM KAPELLEN 1 · RUF 0 6132 / 57 11



INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung
2. Schrifttumsübersicht:
Das Arbeiten mit höchsttourigen Instrumenten
und das Problem der Wärmewirkung
- 2.1. Experimentelle und klinische Untersuchungen
- 2.2. Histologische Untersuchungen
3. Methoden der Temperaturmessungen
4. Physikalische Betrachtungen zum Bohr-
und Schleifvorgang an der Zahnhartsubstanz
5. Zwei verschiedene Kühlsysteme
6. Arbeitsbereiche einer zahnärztlichen Turbine
7. Eigene Untersuchungen
- 7.1. Technisch-physikalische Versuchsanordnung
- 7.1.2. Ergebnisse
- 7.2. Klinisch-experimentelle Versuchsanordnung
- 7.2.2. Ergebnisse
8. Diskussion
9. Zusammenfassung
10. Literaturverzeichnis

EINLEITUNG

Dem in Deutschland marktbeherrschenden Zweidüsenkühlssystem bei hochtourig arbeitenden Instrumenten steht das weltweit mehr gebrauchte Eindüsenkühlssystem gegenüber.

Nicht zuletzt wartungstechnische Gründe lassen jedoch für die Zukunft eher eine Entwicklung in Richtung auf das Eindüsenkühlsystem hin erwarten.

Auf Anregung von Herrn Professor Dr. Dr. W. Ketterl habe ich in der vorliegenden Arbeit untersucht, ob im Laborversuch Unterschiede in der Kühlwirkung der höchsttourig laufenden Instrumente zwischen dem Eindüsenkühlsystem und Zweidüsenkühlsystem zu sehen sind.

2. DAS ARBEITEN MIT HÖCHSTTOURIGEN INSTRUMENTEN UND DAS PROBLEM DER WÄRMEENTWICKLUNG

1. Experimentelle und klinische Untersuchungen

Der Grund für das Arbeiten mit höchsttourigen Instrumenten in der Zahnheilkunde ist:

- 1) der Anstieg der Schleif- bzw. Bohrleistung (ADLER (1), FUHR (9), STROH (34), MAYER (29))
- 2) das Bestreben einer möglichst schmerzfreien und für die Pulpa schonenden Bearbeitung des Zahnes.

Bei Bearbeiten der Zahnhartsubstanz mit Instrumenten mit einer Drehzahl von 200.000 konnte eine bis zu fünffach höhere Schneidleistung bestimmt werden (34).

Für die Schmerzauslösung beim Patienten sind verantwortlich einmal die Einwirkung mechanischer Reize in Form von Vibration und Bohrdruck, zum anderen der thermische Reiz.

Beim normal- und hochtourigen Arbeiten wird die Vibration als besonders störend empfunden. Der Frequenzbereich, in dem die Schwingungen als schmerzhaft in Erscheinung treten können, ist nach WALSH und SYMMONS (42) 500-800 Hz nach WALSER (40) bis 1.600 Hz.

Darüber werden keine Vibrationen mehr wahrgenommen (39). Die Eigenfrequenz des Turbineninstrumentes ist jedoch mit 3.000 Hz wesentlich höher, so daß diese Vibration nicht mehr als störend empfunden wird. Der Anpreßdruck als zweiter mechanischer schmerzauslösender Faktor ist bei richtiger klinischer Anwendung gering. Einhellig wird von allen Autoren (23, 24, 6) eine intermittierende, tupfende Arbeitsweise mit 10-30 p Anpreßkraft gefordert.

Ganz im Vordergrund steht jedoch die Reibungswärme als thermische Reizauslösung und als Schädigungsfaktor für die Pulpa. Es wurden beim höchsttourigen Arbeiten ohne Kühlung Temperaturen bis 300°C gemessen (23).

So ist eine Kühlung unbedingt erforderlich, und es wird allgemein der Wasserkühlung die entscheidende Bedeutung zuerkannt.

(SCHUBERT (32), KLOS und ROTTKE (17), MAYER (24), RIETHE (31), EICHNER (6), ONTRUP (27), FECHNER (7), FUHR (10), HUNKIRCHEN (16), MÜHLEMANN (26), STÜBEN und HOPPE (37), RAUBER (15), LANGE LAND (21), POLMANN-MOOY (29), WALTER (41)).

Unterschiedlich werden die Fragen beantwortet:

1. wieviel Wasser zur Kühlung benötigt wird,
2. wie hoch die Wassertemperatur sein soll,
3. ob der Spray dem reinen Wasserstrahl vorzuziehen ist,
4. ob ein Ein- oder Zweidüsensystem verwendet werden sollte.

zu 1: FUHR (9), HOFMANN (15), HUNKIRCHEN (16) halten 30 ml Wasser pro Minute für die erforderliche Mindestmenge.

zu 2: DRUM (3) und KLOS und ROTTKE treten für die Kühlung mit kaltem Wasser ein, weil so die Kühlwirkung naturgemäß besser ist. Ein von DRUM (3) angeführter Anästhesieeffekt bei der Verwendung von kaltem Wasser tritt nach FUHR (9) nicht auf. Die untere Reiztemperaturschwelle liegt bei 27°C , (HENSEL und MANN (14)) so daß Temperaturen unter 27°C als unangenehm empfunden werden.

zu 3: FUHR (9) hat bei der Verwendung des reinen Wasserstrahls weniger Beschwerden der Patienten beobachtet, als bei einer Spraykühlung.

Der Spray hat jedoch einige Vorteile:

1. Die zerstäubten Wassertropfen verteilen sich weiträumiger. So werden auch bei der Verwendung von langen Instrumenten deren Spitze noch mit Wasser benetzt.
2. Beim Spray ist die Gefahr nicht so groß, daß größere Wassermengen am Zahn abprallen und zurück in das Gesicht des behandelnden Arztes spritzen. Auf diese hygienischen Verhältnisse weisen LENK und EICHNER (4) hin.
3. Dem Spray wird eine größere Reinigungswirkung zuerkannt, weil die einzelnen Wassertropfen eine höhere kinetische Energie haben.
4. Mit dem Spray können mit geringeren Wassermengen gleiche Kühleigenschaften erreicht werden, was für die Absaugung ein Vorteil ist.

Im allgemeinen werden auf dem deutschen Markt heute Turbinen angeboten mit Sprayvorrichtung, deren Wasser vorgewärmt wird auf $28-32^{\circ}\text{C}$ und deren Wasserverbrauch bei 60 ml/min liegt.

Unter Anwendung von Wasser als Kühlmittel wurden in der Pulpa nur geringe Temperaturerhöhungen von KLOS und ROTTKE (17), POLMANN-MOY (29) und HOFMANN (15) ermittelt. Bis 11° wurden von STÜBEN und HOPPE (37) festgestellt. FECHNER (7) ermittelte in 1 mm Entfernung von der Bohrstelle weniger als 10° Temperaturerhöhung, während FUHR (9) unter extremen Bedingungen - erhöhter Anpreßdruck -, Temperaturen bis 41° in der Pulpa messen konnte. Unter klinischen Arbeitsbedingungen jedoch erreichte er eine kühlmittelbedingte Temperaturerniedrigung. Weitere Untersuchungen von HOFMANN (15) ergaben mit Hilfe von Thermochromen Werte ohne Kühlung von 80 bis 290° , mit Kühlung von unter 50° . Lediglich mit stumpfen Bohrern wurden 600° erreicht, während MAYER (23) aufgrund der Anlauffarben der verwendeten Bohrer auf Temperaturen von 45 bis 178° mit Kühlung und 170 bis 300° ohne Kühlung schließt. LENK (4) be-

stätigt das Vorhandensein derartig hoher Temperaturen, indem er von einem "Glühprozeß", dem die Bohrspäne ausgesetzt sind, spricht.

zu 4: Eine Wertung der unterschiedlichen Kühlsysteme in bezug auf die Anzahl der Düsen erfolgte durch RAUBER (30), der aufgrund histologisch nachzuweisender Brennsuren im Dentin, wie auch STEIN (33), dem Zweidüsen- vor dem Eindüsenprinzip bessere Kühlleistung zuspricht. Während MAYER (24) aufgrund klinischer Erfahrung das Zweidüsen-system vorzieht, sind aus den Untersuchungsergebnissen von FUHR (9) keine nennenswerten Unterschiede herauszulesen.

2.2. Histologische Untersuchungen

RIETHE (31) gibt eine Zusammenfassung aller möglichen Schäden, die durch eine Präparation hervorgerufen werden können:

" 1. Veränderungen des Dentins

2. Veränderungen in der Odontoblastenschicht

- a) Vakuolenbildung
- b) Dilatation von peripheren Kapillaren
- c) Haemohagien
- d) "aspirated odontoblasts"
- e) Auflockerung, Reduktion oder Fehlen der Odontoblastenschicht.

3. Veränderung des Pulpengewebes

- a) diffuse Hyperämie
- b) Haemorrhagien
- c) retikuläre atrophische Bezirke
- d) Infiltrationsherde
- e) hydropische Höhlen
- f) "rebound response" = nicht am Ort der Reizwirkung liegende Pulpagewebsveränderung.

RAUBER (30), RIETHE (31), STEIN (33) stellen Veränderungen im Dentin fest, in Form von sogenannten Verbrennungszonen.

LANGELAND (20,21) sieht die Anwesenheit von Odontoblastenkernen in den Dentinkanälchen (aspirated odontoblasts) als Grund für eine schädigende Präparation an.

Von AHRENS (2), HUNKIRCHEN (16), KLUCZKA (18), MAEGLIN (22), MÜHLEMANN und RATEITSCHAK (26), WEDER (43) u.a. wurden die obenaufgeführten Möglichkeiten der Pulpenreaktionen beschrieben.

MAEGLIN (22) unterscheidet vom histologischen Standpunkt aus zwei voneinander verschiedene Reaktionen in der Pulpa:

- " 1. Primäre Veränderungen, die die unmittelbare Folge des Bohrtraumas darstellen. "

Sie zeigen sich in Form von "Hyperämien, Verlagerung der Odontoblastenkerne in die Dentinkanälchen, Blutungen im Pulpengewebe, Reduzierung und Auflockerung der Odontoblastenschicht sowie in einer Nekrotisierung umschriebener, nahe dem Kavitätenboden gelegener Gewebsbezirke. "

2. " Sekundäre Veränderungen, die erst zu einem späteren Zeitpunkt auftreten und die als mittelbare Antwort des vitalen Gewebes auf die primären Veränderungen aufzufassen sind. "

Hiermit werden hydropische Entartungen des Pulpengewebes, die Ausbildung von Granulationsgewebe, Rundzellinfiltrationen und die Verbreiterung des Praedentinsauumes angesprochen.

Im übrigen wirft die Bewertung der durch die Präparation entstandenen Pulpilveränderungen einige Schwierigkeiten auf, weil eine "normale" Pulpa nur selten zu finden ist. Selbst Pulpen klinisch gesunder, jugendlicher Zähne zeigen häufig Veränderungen des Odontoblastensaumes und des Pulpengewebes.

Die kritische Betrachtung der Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen zu dem Problem der Pulpenschädigungen nach Bohrtrauma läßt folgenden Schluß zu:

1. Es ist immer mit histologisch nachweisbaren Pulpilveränderungen zu rechnen.
2. Das Ausmaß der Veränderungen wird jedoch bei optimaler Kühlung klinisch nicht relevant. EICHNER (4) bezeichnet sie als "klinisch ertragbar".

3. METHODEN DER TEMPERATURMESSUNG

Im allgemeinen werden zur Bestimmung der Temperaturverhältnisse beim höchsttourigen Bohren und Schleifen Thermoelemente verwandt (29, 7, 9, 14, 15, 17, 32, 35, 37, 40, 41). Ein Thermoelement (Abb. 9) ist eine durch zwei Lötstellen A und B verbundene Anordnung von drei Drähten aus zwei verschiedenen Metallen. Haben die beiden Lötstellen verschiedene Temperaturen, so entsteht eine Thermospannung, die jedoch sehr gering ist, bei Konstantan-Kupfer $0,41 \cdot 10^{-4}$ Volt/grad Temperaturunterschied zwischen A und B.

Bei der in Abb. 9 dargestellten Anordnung wird also die Temperatur an Lötstelle A mit der an Lötstelle B verglichen. Um eine konstante Vergleichsbasis zu erhalten, wird die Temperatur der Lötstelle B in einem Wasserbad mit schmelzendem Eis auf konstant 0° C gehalten.

Nach STÜBEN (35) ist es unbedingt erforderlich mit Thermoelementen aus dünnsten Drähten zu arbeiten, um den Verlust an Wärmeenergie möglichst gering zu halten, denn die Wärmeleitung eines Metalldrahtes steigt mit zunehmendem Querschnitt an.

Werden Drähte von 0,1 mm Durchmesser benutzt, so haben die Thermoelemente auch den Vorteil des geringen Raumanspruchs, um leicht und exakt am Meßort plaziert werden zu können.

Thermochrome wurden von HOFMANN (15) zur Temperaturbestimmung an der Präparationsstelle verwandt. Thermochrome sind Farben, die bei einer bestimmten Temperatur einen bleibenden Farbumschlag zeigen. Diese Verfahren haben den Nachteil, daß die Temperaturangabe ungenau ist, weil nur der Temperaturbereich des Farbumschlages erfaßt werden kann. MAYER (23) versuchte mit Anlauffarben auf speziell hergestellten Rosenbohrern die auftretenden Temperaturen zu bestimmen.

4. PHYSIKALISCHE GESICHTSPUNKTE ZUM BOHR- UND SCHLEIFVORGANG AN DER ZAHNHARTSUBSTANZ

Der Bohr- bzw. Schleifvorgang, bei dem das rotierende Werkzeug ständig den Zahn berührt, stellt eine Relativbewegung dar, was zwangsläufig zu Reibung, Vibration und weiteren physikalischen Erscheinungen führt.

Die mit dem Bohrgerät an den Zahn herangeführte mechanische Leistung läßt sich nach GREUTER (13) in folgende Komponenten aufteilen:

1. Abtragsleistung, hierzu gehören die Trennarbeitsleistung, die Deformationsleistung von Zahnoberfläche und Span und die Beschleunigungsleistung der Späne.
2. Reibungswärmeleistung, hierzu gehört die Wärme, die entsteht an der Berührungsfläche Werkzeug - Zahn. Sie erwärmt das Werkzeug, den Zahn, die Späne und das Kühlmittel, soweit es verwendet wird.
3. Vibrationsleistung, hierzu gehören die Frequenzen des Zahnes, des Werkzeuges und des Handstückes.
4. Beschleunigungsleistung des Spray

Erwünscht ist nur die Trennarbeitsleistung, alle anderen Energieumwandlungen stellen unerwünschte, jedoch unvermeidliche Prozesse dar.

Die Reibungswärme ist die direkte Gefahr für die Pulpa. Die Entstehung der Reibungswärme ist abhängig von

- 1) der Drehzahl
- 2) dem Auflagedruck (auch "Bohrdruck, Anpreßdruck oder Anpreßkraft" genannt)
- 3) der Beschaffenheit von Werkzeug und Zahn
- 4) Bohrerradius

Nach PÄTZOLD (28) ist die mechanische Leistung direkt proportional dem Anpreßdruck und der Drehzahl. Das bedeutet, z.B. daß bei 1 kg Anpreßdruck und 3.000 U/min die gleiche mechanische Leistung erbracht wird, wie bei 10 g Anpreßdruck und 300.000 U/min. Hier ist zu verstehen, wie gering die Anpreßdrucke bei klinischer Anwendung der Turbine nur sein dürfen. Als ideal werden 10-30 p angesehen. Die 50 p Marke sollte jedoch nicht überschritten werden[EICHNER (6), FUHR (10), MAYER (24)].

Für den Praktiker wird hier immer die Bezeichnung der "tupfenden und zeichnenden Arbeitsweise" gegeben.

5. ZWEI VERSCHIEDENE KÜHLSYSTEME BEI TURBINEN

Zur Zeit werden in Deutschland vorwiegend Turbinen mit einem Zweidüsensystem angeboten. Das Prinzip ist bei allen Herstellern gleich:

Getrennt werden Sprayluft und Spraywasser zur Turbine geleitet, hier werden Luft und Wasser in einer Mischkammer, diese meist am hinteren Ende des Turbinenhandstückes untergebracht, vermischt. Von dort wird das Wasser-Luft-Gemisch in einen unter dem Turbinenkopf um den Bohrer-schaft liegenden Ringkanal geleitet. Aus zwei sehr kleinen Düsen in diesem Ringkanal tritt das Wasser-Luft-Gemisch dann aus und trifft auf Bohr- oder Schleifkörper der Turbine. Abb. 1a, 1b, 3

Die Firma Siemens AG, Bensheim, hat ein neues Eindüsen-system entwickelt, das in Kürze auf dem Markt angeboten werden wird.

Bei diesem System werden Wasser und Luft bis zur Austrittsstelle, kurz hinter dem Turbinenkopf am Übergang zum Handstück, getrennt geleitet. Erst hier wird das Wasser nach dem Freistrahlsprinzip vernebelt. Abb. 2a, 2b, 4

Vergleicht man die Form des Spraynebels bei beiden Systemen, so ist der Spray beim Eindüsen-spray weiträumiger als beim Zweidüsen-spray. Werden sehr lange Diamanten eingespannt, wie sie gern bei Kronenpräparationen verwandt werden, so kann beim Zweidüsensystem der Spray schon vorher abgelenkt werden und nicht die Instrumentenspitze erreichen. Auf diese Gefahren weist besonders MAYER (24) hin.

Das Zweidüsensystem hat einige technische Nachteile:

- 1) Wartungstechnisch lassen sich nur sehr schwierig Kalkablagerungen aus der Mischkammer und dem Ringkanal entfernen.
- 2) Gesetzliche Bestimmungen, in Amerika schon in Kraft, werden wahrscheinlich auch bald bei uns das Mischkammersystem aus hygienischen Gründen nicht zulassen. Denn bei kurzzeitigem Ausfall der Zuleitung von Wasser oder Luft, oder auch schon bei starkem Druckabfall in einer Zuleitung, kann aufgrund des höheren Druckes des anderen Mediums dieses über die Mischkammer in die andere Zuleitung mit denen im Ringkanal und Mischkammer zwangsläufig aufhaltenden Keimen zurückgetrieben werden. Bei wieder hergestellten Druckverhältnissen können dann die Keime beim nächsten Patienten in die Mundhöhle gelangen.
- 3) In Mischkammer und Ringkanal herrscht nie ein konstanter Druck, sondern ein Schwingungssystem, so daß der Spray immer flackernd aus den beiden Austrittsstellen kommt. Dies ist mitunter mit dem bloßen Auge festzustellen. LAMPERT (19) hat mit Hilfe von high-speed-Filmaufnahmen zeigen können, daß dieses Flackern des Sprays immer auftritt.

Diese Nachteile hat das Eindüsensspraysystem nicht:

- 1) Wartungstechnisch lassen sich Kalkablagerungen nach Abschrauben des Turbinenkopfes über einen kurzen Wasserkanal herausstoßen.
- 2) Die beiden Medien, Wasser und Luft, werden erst an ihrer Austrittsstelle vermischt. Ein Rückstromeffekt kann nicht auftreten.
- 3) Der Eindüsenspray ist kontinuierlicher und gleichmäßiger. LAMPERT (19)

6. ARBEITSBEREICHE EINER ZAHNÄRZTLICHEN TURBINE

In Abb. 4 ist das Drehmoment, gemessen in pmm, in Abhängigkeit von der Drehzahl, gemessen in U/min, angegeben. Das Drehmoment kann mit besonderen Geräten gemessen werden. Das Prinzip der Drehmomentmessung ist in Abb. 5 angegeben:

Ein in Turbine eingespannter Stift wird über Bremsbacken, die mit einer variablen Bremskraft P_1 angedrückt werden, gebremst. Das System der Bremshebel ist auf einem luftgelagerten (reibungssarmen) Drehtisch angebracht. So ergibt sich beim Schleifvorgang eine Gegenkraft P_2 , die sich über eine Federwaage messen läßt.

Zum Drehzahlmessen werden Bohrer und alle metallischen Anteile des Bohrfutters magnetisiert. Auf induktivem Wege kann die Drehzahl gemessen werden. (Abb. 7) Das Drehmoment M ergibt sich dann nach $M = P_1 \cdot u \cdot r = P_2 \cdot R$. Die Abhängigkeit des Drehmoments von der Drehzahl ist annähernd lineal.

Die Leistung N der Turbine, gemessen in Watt, ergibt sich dann aus
$$N = \frac{M}{t} .$$

Dann entsteht die Leistung in Abhängigkeit von der Drehzahl in einer parabelähnlichen Leistungskurve mit einem Leistungsmaximum bei der halben Leerlaufdrehzahl. Der klinische Anwendungsbereich liegt jedoch zwischen halber Leerlaufdrehzahl und Leerlaufdrehzahl. Wird die Turbine unter die halbe Leerlaufdrehzahl herabgebremst, so fällt die Leistung rasch ab, und die Turbine bleibt bald stehen. Diesen Vorgang kennt jeder Zahnarzt:

Bei zu starker Anpreßkraft wird das Turbinengeräusch dumpfer bis die Turbine stehen bleibt.

Die Leistung von Turbinen liegt im allgemeinen zwischen 4 und 9 Watt. Wird eine solche Leistungsangabe gemacht, so mußte vorher, wie oben beschrieben, erst das Drehmoment gemessen werden und daraus die Leistung errechnet werden.

Es muß darauf hingewiesen werden, daß Turbinen auch aus derselben Fertigungsserie bis zu 50 % unterschiedliche Leistungsmaxima aufweisen können. Auch ein und dieselbe Turbine kann nach längerer Anwendungsdauer ihr Leistungsverhalten ändern. Die Erklärung liegt darin, daß bei den sehr hohen Drehzahlen von 400.000 U/min Genauigkeiten von 1/1000 min gefordert werden, die die Technik an die Grenze des heute möglichen bringt.

So können die von den verschiedensten Autoren angegebenen Temperaturerhöhungen nur bedingt miteinander verglichen werden, weil Angaben über das Leistungsverhalten der untersuchten Turbinen nicht gemacht wurden, und sicher Turbinen mit unterschiedlichen Leistungen getestet wurden.

7. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

Untersucht wurde die Kühlleistung von zahnärztlichen Turbinen mit unterschiedlichen Kühlsystemen, wie in Kapitel 4 beschrieben:

1. Siemens-Sirona-Turbine mit Zweidüsensystem, kugelgelagert.
2. Turbine mit Eindüsensystem, kugelgelagert.

7.1. Technisch-physikalische Untersuchungen

7.1.1. Versuchsanordnung

Zur Überprüfung der möglichen Abhängigkeit der Kühlwirkung von der räumlichen Beziehung zwischen Aufprallort des Sprays und der Schleifstelle wurde eine Versuchsanordnung entwickelt, die alle denkbaren Relationen bei ziehender und schiebender Arbeitsweise berücksichtigt.

Die zu prüfenden Turbinen wurden in eine Hebelkonstruktion (Abb. 7) eingespannt, in der sie bei konstanter Ausrichtung eine Kreisbahn gleichmäßig beschreiben kann.

Die Versuchsanordnung:

Die Turbine 1 ist in den Spannblock 9 auf der Hebelkonstruktion 2 eingespannt, die auf dem Dorn 10 und 4 gelagert ist. Der Dorn 4 auf der Rolle 5 beschreibt eine Kreisbahn um den Rollenmittelpunkt. Der Radius kann über den Schlitten 6 variiert werden. Ist das Turbineninstrument 11 genau über 4 justiert, so beschreibt die Turbine, die von 4 vorgegebene Kreisbahn.

Die Prüfkörper, Elfenbeinscheiben 12 von 20 mm Durchmesser und 3 mm Dicke, werden auf dem über die Einstellschraube 8 in der Höhe verstellbaren Tisch 7 befestigt.

Der Mittelpunkt der Scheibe liegt über dem Drehpunkt der Rolle 5. Konstanter Anpreßdruck der Turbine wird erreicht durch ein Gewicht, das an einer über die Rolle 5 aufgewickelten und um die Rolle 13 umgelenkten Schnur hängt.

Elfenbein als Prüfkörpermaterial bot sich an,

1. wegen der Ähnlichkeit zum menschlichen Dentin,
2. wegen der Möglichkeit eine große Anzahl gleichförmiger und homogener Prüfkörper der gewünschten Größe zu erhalten.

Für alle Testscheibchen wurde Material desselben Stoßzahnes verwendet. (bezogen von Fa. Kolletzky, Erbach/Odenwald)

In die Elfenbeinscheibe wurde eine 1,1 mm breite und 2 mm tiefe von 15 mm Innendurchmesser Ringnut eingefräst. (Abb. 8) Von der Gegenseite wurde in 1,4 mm an den Positionen 45, 90, 135, 180, 225, 270 und 315 in 0,5 mm starken Bohrungen sieben Konstantan-Kupfer-Thermoelemente angebracht.

Die zweite zu einem Thermoelement gehörende Lötstelle wurde in einem Wasserbad mit schmelzendem Eis auf konstant 0°C gehalten. Die zwischen den beiden Lötstellen A und B mit verschiedenen Temperaturen entstehende Thermospannung wurde über einen "Servogor" Kompensationslinienschreiber gemessen und kontinuierlich mitgeschrieben. Die Skala wurde über schmelzendes Eis und über siedendes Wasser für den Bereich 0°C bis 100°C geeicht. (Abb. 9)

Die Thermospannung ist sehr gering, bei Kupfer-Konstantan $0,41 - 10^4$ Volt/grd C.

Jede Verunreinigung und besonders Feuchtigkeit in diesem Stromkreis ergeben starke Ungenauigkeiten.

Die Thermoelemente müssen daher äußerst sorgfältig gegen den Spray der Turbine abgedichtet werden.

Als Ausgangstemperatur wurde die jeweilige Spraytemperatur gewählt, für das Eindüsen system 28°C für das Zweidüsen system 30°C . Die Annahme dieser Werte ergab sich aufgrund eines Vor-

versuches. Messungen mit Hilfe eines am Boden einer 3 mm tiefen Kavität an einem Zahn 37 (1,5 mm Abstand von der Pulpa) in einer Zementfüllung angebrachten Thermoelementes ergaben, daß die Temperatur des Zahnes wesentlich von der Spraytemperatur abhängt. Es wurde bei einer Mundtemperatur 34°C eine Zahntemperatur von 35°C festgestellt. Unter Sprayeinfluß nahm der Zahn bzw. die Meßstelle schon nach 10°sec die Spraytemperatur von 30°C an. Sie sank weiter unter Einwirkung der Absauganlage auf 24°C (Abb.10). Nach HENSEL und MANN (14) ist damit die untere Schmerzgrenze erreicht.

FUHR (9) kommt zu gleichen Ergebnissen und hat gezeigt, daß unter klinischen Arbeitsbedingungen (Ausgangstemperatur 37°C) eine kühlmittelbedingte Temperaturerniedrigung erreicht wird. Wird aber Spraytemperatur als Ausgangstemperatur gewählt, so sind alle beim Versuchsablauf entstehenden Temperaturen durch den Schleifvorgang entstanden.

Als Arbeitsbereich der Turbine wurde anhand des Leistungsdiagramms der Drehzahlbereich (200.000 U/min) gewählt, bei dem die maximale Leistung abgegeben wird und damit auch mit der maximal möglichen Wärmezeugung zu rechnen ist (siehe Kapitel 6). Die zu vergleichenden Turbinen hatten beide ein Leistungsmaxima von 6,5 Watt. Die Drehzahl von 200.000 U/min wurde erreicht beim Anpreßdruck von 72 g. Die Drehzahl wurde auf dem induktiven Wege über einen elektronischen Drehzahlmesser ständig überprüft.

Versuchsablauf:

1. Beim Eindüsen-spray werden eingestellt:

Treibluft auf 1,85 atü

Sprayluft auf 2,7 atü

Spraywasser auf 2,0 atü

Sprayluftdurchflußmenge auf 7 Normliter/min

Spraywasserdurchflußmenge auf 60 ml/min

Beim Zweidüsenspray werden eingestellt:

Treibluft auf 1,85 atü

Sprayluft auf 1,6 atü

Spraywasser auf 1,4 atü

Spraydurchflußmenge auf 5 Normliter/min

Spraywasserdurchflußmenge auf 60 ml/min

2. Die Elfenbeinscheibe wird solange mit dem Spray berieselt bis die Spraytemperatur von 30°C beim Zweidüsenspray und 28°C beim Eindüsenspray über mindestens 2 Min. konstant blieb, ohne während dieser Zeit die Elfenbeinscheibe zu beschleifen.

3. Die Turbine wird so stark über das Gewicht belastet, bis am Turbinenkopf eine Drehzahl von 200.000 U/min gemessen wird.

Die vorgefräste Ringnut wird in Richtung Thermoelemente nach außen erweitert. Bei diesem Schleifvorgang wird eine etwa 1,0 mm dicke Substanz abgetragen. Verwendet werden zylindrische Diamanten von 4 mm Länge und 1,1 mm Durchmesser. Der Schleifkörper nähert sich den Thermoelementen auf etwa 0,3 mm. An den Meßpunkten 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315 werden während des Umlaufs die Temperaturen fortlaufend auf Schreibern aufgezeichnet.

Dieser Schleifvorgang entspricht der Erweiterung einer zentralen Kavität, also der Präparation nach Black der Klasse I.

An dem Punkt 90 ist die Arbeitsweise ziehend, an 270 schiebend, an 180 von links nach rechts, an 45, 135, 225, 315 Übergänge von Seitwärtsbewegung nach ziehender bzw. schiebender Arbeitsweise.

An allen Punkten ist der Aufprallort des Sprays unterschiedlich (Abb. 11).

Beim Zweidüsenspray trifft immer ein Spray in die vorgefräste Nut und auf den Diamanten. Bei Position 0, 45, 90, 135 trifft der linke vom Handstück aus gesehene Spray auf die Scheibe und der rechte in die Nut und auf den Diamanten. Bei Position 180, 225, 270, 315 trifft der rechte Spray auf die Scheibe, der linke jedoch in die Nut und auf den Diamanten.

Beim Eindüsensystem trifft der Spray bei den Positionen 0, 45, 315, 90, 270 in die Ringnut und an den Schleifkörper, an Position 135, 180, 225 jedoch hauptsächlich auf die Elfenbeinscheibe und kaum in die Ringnut und an den Schleifkörper.

Die Position 180 ist auch bei beiden Systemen der Kronenpräparation eines Zahnes im approximalen distalen Bereich bei Ausrichtung der Turbine in Zahnreihe. Hier trifft beim Eindüsensystem der Spray auf die okklusale Fläche des Zahnes und nur wenig auf den Diamanten.

7.1.2. Ergebnisse der ersten Versuchsanordnung

Die Ergebnisse dieser ersten Versuchsreihe sind in den Tabellen 1, 2, 3 und 4 angegeben. In der unteren Kurve der Abb. 12 sind die Mittelwerte mit Standardabweichungen der in 25 Einzelmessungen aufgezeichneten Temperatursteigerungen für jede der sieben Meßstellen des Zweidüsensystems angegeben. Die obere Kurve gibt die entsprechenden Werte für das Eindüsensystem wieder. Bei der Prüfung des Zweidüsensystems (Tabelle 3) ergab sich eine mittlere Temperaturerhöhung zwischen 4 und 5°. Die Änderung der Lagebeziehung Sprayaufprallort-Schleifstelle wirkte sich beim Zweidüsensystem nicht auf die Kühlung aus.

Bei dem Eindüsensystem dagegen konnte eine solcher Einfluss nachgewiesen werden. Im Test nach Scheffé^{x)} (Tabelle 4 a), bei dem jeder Meßort als Einzelgruppe betrachtet wurde, sind für die Position 180 statistisch signifikant größere Temperaturerhöhungen gegen über allen anderen Meßstellen festzustellen. Hier trifft der Spray nicht auf den Diamanten bzw. in die Ringnut, sondern primär auf die Oberfläche der Elfenbeinscheibe.

x) aus KOLLER, S.: Neue graphische Tafeln zur Beurteilung statistischer Zahlen. Dr. D Steinkopff Verlag, Jarmstadt 1969

Im Vergleich der Meßorte 45 gegen 135, 90 gegen 315, 135 gegen 270 und 315 und 225 gegen 315 ergaben sich auch signifikante Unterschiede in der Temperaturerhöhung. Hier trifft der Spray auch ungenügend auf den Schleifkörper.

Der Vergleich beider Turbinen mittels des t-Testes für unverbundene Stichproben zeigt eine auf dem 1%-Niveau signifikant geringere Temperaturerhöhung an allen sieben Meßstellen bei Anwendung des Zweidüsensystems.

7.2. Zweite Versuchsanordnung

Ziel dieser Untersuchung war ein ebensolcher Vergleich dieser beiden Kühlsysteme in bezug auf die Temperaturerzeugung beim Anlegen einer zentralen Kavität.

An 25 frisch extrahierten kariesfreien, ungefüllten Molaren wurden 3 Thermoelemente angebracht. Hierzu wurde die gesamte Krone in Höhe der Schmelz-Zement-Grenze horizontal von der Wurzel getrennt. Am Dach der dann freiliegenden Pulpa wurde ein Thermoelement befestigt. Von der Schnittfläche aus wurden zwei diagonal gegenüberliegende Bohrungen (Durchmesser 0,5 mm) in Richtung eines Höckers bis zur Schmelz-Dentin-Grenze getrieben. Dort wurden die beiden anderen Thermoelemente untergebracht. (Abb. 13)

Die Thermoelemente wurden zusätzlich mit einer Wärmeleitpaste, mit großer Wärmeleitfähigkeit und geringer Wärmekapazität bestrichen, um keinen Temperaturunterschied zwischen Thermoelement und Dentin zu haben. Der zu präparierende Zahn wurde in einen Spannblock eingespannt (Abb. 14). Die Meßdaten wurden wieder fortlaufend auf Schreibern aufgezeichnet. Die Präparation der Kavität wurde per Hand unter Berücksichtigung klinischer Arbeitsweise durchgeführt, wobei die Bewegung des Handstückes an Thermoelement 1 mehr ziehend an Thermoelement 2 mehr schiebend erfolgte. Im Vorversuch ergab sich für jeden tupfend angesetzten Arbeitsgang die Abtragung einer Schmelz-Dentin-Schicht von 0,2 bis 0,3 mm Dicke.

Die Meßstellen 1 und 2 verzeichneten erste Meßwerte bei der Reduzierung der Dentinwand zwischen Kavitäten und Thermo-
element auf 0,5 bis 0,7 mm.

Weitere Temperaturerhöhungen wurden bei den folgenden Arbeitsgängen ermittelt, die die Dicke der Kavitätenwand zunächst auf 0,3 bis 0,4 mm und schließlich bis auf 0,1 mm verminderten. Der letzte Arbeitsgang eröffnete die Bohrung, in denen die Thermoelemente befestigt waren und zerstörte sie.

Durchgeführt wurden pro Turbine 25 Meßreihen.

7.2.1. Ergebnisse der zweiten Versuchsanordnung

Das Thermoelement am Pulpdach zeigte unter den gegebenen Versuchsbedingungen keine Temperaturänderungen. Die Meßwerte sind in Tabelle 5, 6, 7 zusammengestellt. Angegeben sind die Mittelwerte der Temperaturerhöhungen, die entstanden sind, als Schmelz-Dentin-Substanz in Richtung der Meßorte 1 und 2 abgetragen, aufgeteilt nach Arbeitsgängen bei denen Temperaturerhöhungen gemessen wurden.

So ergibt der erste Arbeitsgang, bei dem eine Temperaturerhöhung zu messen war, bei beiden Systemen eine Temperaturerhöhung von 1°C an beiden Meßorten. Die verbleibende Wandstärke beträgt hier 0,5 - 0,7 mm.

Beim zweiten Arbeitsgang, mit einer verbleibenden Wandstärke von 0,3 - 0,4 mm, ergaben sich beim Eindüsensystem 2°C Temperaturerhöhung an beiden Meßorten, beim Zweidüsensystem 2°C und 1°C .

Beim letzten Arbeitsgang vor Zerstörung des Thermoelementes, verbleibende Wandstärke hier 0,2 - 0,1 mm, ergaben sich beim Eindüsensystem 3°C Temperaturerhöhung an beiden Meßorten, beim Zweidüsensystem an beiden Meßorten 2°C .

Der Unterschied in der Temperaturerhöhung beim Ein- und Zweidüsensystem ist nicht signifikant.

8. DISKUSSION

Für die Bewertung der Kühlleistung der beiden Turbinen ergeben sich zwei unterschiedliche Aspekte:

1. Unter Laborbedingungen, Verwendung von Elfenbein, Arbeit bei andauernd höchster Leistungsabgabe der Turbine, Anpreßdruck 72 g und kontinuierlicher Arbeitsweise, ergeben sich statistisch signifikante Vorteile für das Zweidüsen-system. So wurde für dieses System eine maximale Temperaturerhöhung von 7°C gemessen, was bei einer Anfangstemperatur von 30°C in einem Abstand von 0,3 mm von der Bohrstelle eine unschädliche Gesamttemperatur von 37°C ergibt. FECHNER (7), FUHR (9) und STÜBEN und HOPPE (37) haben ebenfalls Temperaturerhöhungen unter 10°C gemessen.

Mit dem Eindüsen-system dagegen wurde mit einer Anfangstemperatur von 28°C ein Anstieg der Temperatur auf 50° erreicht, dies trat beim Versuchsablauf an der Position 180° auf. Hier trifft der Spraystrahl primär auf die Elfenbeinscheibe und nicht in die vorgefräste Nut und nicht an das Schleifinstrument. Dies entspricht klinisch der Situation des Beschleifens der distalen Seitenzahnwand, z.B. für eine vorgesehene Überkronung. Hier trifft der Spraystrahl zuerst auf die okklusale Fläche des zu beschleifenden Zahnes und nicht an die Schleifstelle und nicht an den Schleifkörper.

Eine Aussage über die Abhängigkeit der Kühlwirkung von der räumlichen Beziehung zwischen Aufprallort des Sprays und der Schleifstelle wurde bisher noch nicht gemacht. FUHR (9), FECHNER (7), STÜBEN und HOPPE (38), POLMANN-MOOY (29) haben die Turbine nur in einer Richtung ausgerichtet.

Bei der Bewertung der Meßergebnisse auf ihr klinische Relevanz hin können jedoch nicht allein die hier gemessenen Werte berücksichtigt werden. Als nicht klinische Versuchsbedingungen sind anzusehen:

1. die kontinuierliche Führung des Handstückes
2. Das sehr nahe Arbeiten (bis auf 0,3 mm) am Thermoelement, wenn man die am Thermoelement gemessene Temperatur als die in der Pulpa möglich entstehende Temperatur ansieht, und nicht wie bei der klinischen Arbeitsweise sich der Pulpa nur bis auf 1 - 1,5 mm nähert, um aufgrund der schlechten Wärmeleitfähigkeit des Dentins mit wesentlich geringeren Temperaturen rechnen zu können.
3. Das Arbeiten bei exakt eingehaltenen maximalen Leistungsabgaben der Turbine.
4. Hohe Anpreßkraft von 72 p.

Dennoch muß aufgrund der erzielten Versuchsergebnisse unter ganz bewußter Anwendung der obengenannten nicht klinischen Versuchsbedingungen mit der Möglichkeit eiweißkoagulierender Temperaturerhöhungen in der Pulpa gerechnet werden.

2. Bei der Arbeit am Zahn selbst, unter klinischen Bedingungen und praxisgerechter Arbeitsweise, konnte jedoch kein Unterschied zwischen beiden Kühlsystemen ermittelt werden. Die Maximalwerte der aus Erwärmung und Anfangstemperatur resultierenden Gesamttemperaturen sind mit 34° C beim Zweidüsen-system und 33° C beim Eindüsen-system niedriger als die Zahntemperatur bei geöffnetem Mund von 35° C.

Diese Versuchsreihe zeigt deutlich die Diskrepanz zwischen klinischen Arbeitsbedingungen und Laborbedingungen.

LAMPERT (19) zeigt, daß beim Anlegen einer zentralen Kavität immer genug Wasser in der Kavität vorhanden ist, unabhängig von der Sprayrichtung. Ein "Pumpeneffekt" des Schleifkörpers saugt das Wasser an, so daß der Schleifort benetzt und gekühlt wird.

Die vorliegenden Versuchsergebnisse lassen folgende Rückschlüsse für die praktische Anwendung beider Turbinenarten zu:

1. Beide Turbinensysteme sind in der Lage, bei der Arbeit Wärme zu erzeugen.
Ein besonderes Kühlsystem ist unerlässlich.
2. Die strikte Einhaltung nach diskontinuierlicher ("tupfender") Arbeitsweise muß gefordert werden.
3. Die Führungskraft des Turbinenhandstückes muß unter 72 p sein.
4. Zu vermeiden ist das Arbeiten im Drehzahlbereich der maximalen Leistungsabgabe (halbe Leerlaufdrehzahl).
5. Die Turbine darf auf keinen Fall in Pulvernähe angewandt werden.

Unter Berücksichtigung dieser fünf Punkte sind beide Turbinenkühlsysteme als gleichwertig anzusehen, bei jedoch deutlichem Vorteil für das Zweidüsenkühlsystem unter den angegebenen Versuchsbedingungen bei denen mit einer maximalen Wärmeerzeugung zu rechnen ist.

9. ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wurde die Leistungsfähigkeit des Eindüsenkühlsystems mit der des Zweidüsenkühlsystems von zahnärztlichen Turbinen verglichen.

Die Untersuchungen bestanden in

1. einer technisch-physikalischen Prüfung bei Erweiterung einer vorgegebenen Ringnut in einer Elfenbeinscheibe. Die thermoelektrische Temperaturmessung an 7 Meßstellen ergab statistisch signifikante Vorteile für das Zweidüsen-system. Beim Eindüsen-system wurde an allen Meßorten, an denen der Spraystrahl nicht den Schleifkörper trifft, Temperaturerhöhungen gegenüber den Meßorten an denen der Spraystrahl den Schleifkörper erreicht, festgestellt. Die Signifikanz ergab der Test nach Scheffé.
2. klinisch-experimentellen Messungen beim Anlegen einer zentralen Kavität. Es ergaben sich ohne Unterschied bei den verwendeten Kühl-systemen unproblematische Temperaturerhöhungen zwischen 3 und 4° C.

Aufgrund der Untersuchungsergebnisse und deren Diskussion mit den Angaben der zugänglichen Literatur wurden Hinweise für die klinische Verwendung gegeben.

10. LITERATURVERZEICHNIS

1. ADLER, F.: Der Einfluß von Vorschubkraft und Drehzahl (5000 - 160000 U/min) beim Fräsen von Amalgam und Elfenbein mit Hartmetallbohrern (Fräsern)
Dtsch.Zahnärztl.Z. 15, 71-76 (1960)
2. AHRENS, G.: Die Pulpa des beschliffenen Zahnes.
Dtsch.Zahnärztl.Z. 22, 1283-1287 (1967)
3. DRUM, W.: Warmes und kaltes Kühlwasser beim Airotor ?
Quintessenz 11, H. 9 Ref. 1479
43-45 (1960)
4. EICHNER, K.: Normal-, hoch- und höchsttouriges Bohren und Schleifen von Zahnhartsubstanzen.
Hanser-Verlag, München, 1966
5. EICHNER, K.: Normal-, hoch- und höchsttouriges Bohren und Schleifen.
Wissenschaftliche Untersuchungen und klinische Folgerungen II. Teil
Dtsch.Zahnärztl.Z. 18, 113-117 (1963)
6. EICHNER, K.: Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse vorstehender Arbeiten.
Dtsch.Zahnärztl.Z. 15, 116-119 (1960)
7. FECHNER, U.: Temperaturmessungen an Zahnhartsubstanzen beim normal-, hoch- und höchsttourigen Bohren und Schleifen.
Med.Diss. F.U., Berlin, (1960)

8. FUHR, K.: Vergleichende Untersuchungen über die Temperaturverhältnisse beim zahnärztlichen Bohren und Schleifen. Dtsch.Zahnärztl.Z. 18, 986-991 (1963)
9. FUHR, K.: Klinisch-experimentelle Untersuchungen zur Behandlung der Zahnhartsubstanzen unter Berücksichtigung der Pulpenveränderungen und der Peridontalreaktionen. Habil.-Schr., Mainz (1964)
10. FUHR, K.: Zusammenfassende Darstellung unserer Erfahrungen mit Schnellstlaufgeräten. Zahnärztl. Welt, Ref. 63, 244-248 (1962)
11. FUHR, K.: Das Für und Wider des hoch-, und höchsttourigen Schleifens. Dtsch.Zahnärztl.Z. 19, 951-959 (1964)
12. GÄRTNER, D.: Vergleichende Untersuchungen zum Bohren und Schleifen mit höchsten Drehzahlen (Borden-Airotor). Dtsch.Zahnärztl.Z. 15, 80-87 (1960)
13. GREUTER, A.: Einige physikalische Gesichtspunkte zum Präparieren mit hohen Drehzahlen. Schweiz.Mschr.Zahnheilk. 70, 863-876 (1960)
14. HENSEL, H. u. G.MANN: Temperaturschmerz und Wärmeleitung im menschlichen Zahn. Stoma 9, 76-79 (1956)

15. HOFMANN, M.: Die Temperaturentwicklung im Pulpenkavum und an der Schnittfläche bei der Präparation der Zahnhartsubstanzen unter Verwendung der Turbine.
Dtsch.Zahnärztl.Z. 16, 584-590 (1961)
16. HUNKIRCHEN, M.: Ist die Präparation vitaler Zähne ohne ausreichenden Spray bei Anwendung hoher und höchster Umdrehungsgeschwindigkeiten zu verantworten ?
Dtsch.Zahnärztl.Z. 17, 1301-1310 (1962)
17. KLOS, H. u.
R. ROTTKE: Experimentelle Untersuchungen zum Temperaturproblem beim höchsttourigen Bohren und Schleifen mit Turbinengeräten.
Dtsch.Zahnärztl.Z. 15, 1659-1679 (1960)
18. KLUCZKA, J.: Die Auswirkungen des hoch- und höchsttourigen Schleifen und Bohrens auf Dentin und Pulpa.
Zahnärztl. Welt/Reform 60, 445-448 (1959)
19. LAMPERT, F.: Das Kühlsystem zahnärztlicher Turbinen im High-speed-Verfahren.
Film, Tagung DGZMK Hamburg, 1974
20. LANGE LAND, K.: Histologie evaluation of pulpreaction to operative procedures.
Oral Surg. Oral Med. Oral Path. 12, 1235-1239 (1959)
21. LANGE LAND, K.: Pulpreactions to high speed instrumentation.
Norske Tannlaegeforen Tid 68, 127-129 (1958)

22. MAEGLIN, B.: Auswirkungen der Kavitätenpräparation
mit höchsten Geschwindigkeiten in
histologischen Untersuchungen.
Schweiz.Mschr.Zahnheilk. 7o, 877-881
(196o)
23. MAYER, A.: Die Bedeutung experimenteller und
klinischer Untersuchungen über die
hohen und höchsten Drehzahlen.
Dtsch.Zahnärztl.Z. 19, 52o-528 (1964)
24. MAYER, A.: Beurteilung der Turbine auf Grund von
praktischen Erfahrungen.
Zahnärztl.Mitt. 9, 344-348 (1959)
25. MAYER, A.: Schmerzarme und rationelle Bearbeitung
der Zahnhartsubstanz.
Zahnärztl.Mitt. 6, 267-271 (1962)
26. MÜHLEMANN, H.R. u.
K! RATEITSCHAK: Airotorpulpfen.
Zahnärztl.Rdsch. 68, 3o7-312 (1959)
27. ONTRUP, D.: Übersicht über Schleifkörper, Bohrer
und Geräte zum hoch- und höchsttourigen
Bohren und Schleifen.
Dtsch.Zahnärztl.Z. 15, 58-7o (196o)
28. PAETZOLD, J.: Zur Turbinentechnik in der Zahnheil-
kunde.
Zahnärztl. Welt 6o, 422-426 (1959)
29. POLMANN-MOOY, F.: Temperaturmessungen an Zahnhartsub-
stanzen beim normal-, hoch- und höchst-
tourigen Schleifen.
Med.Diss.F.U. Berlin 1962

30. RAUBER, G.: Die Wirkung der Reibungswärme auf das Dentin.
Dtsch.Zahnärztl.Z. 17, 806-811 (1962)
31. RIETHE, P.: Präparation und Pulpa.
Dtsch.Zahnärztl.Z. 24, 695-704 (1969)
32. SCHUBERT, L.: Temperaturmessungen im Zahn während des Schleif- und Bohrvorganges mittels des Lichtstrichgalvanometers.
Zahnärztl.Welt/Reform 8, 443-445 (1957)
33. STEIN, U.: Die thermischen und mechanischen Einflüsse auf die Zahnhartsubstanzen durch normal-, hoch- und höchsttourige Präparation.
Dtsch.Zahnärztl.Z. 19, 894-901 (1964)
34. STROH, W.: Schleifleistungen zahnärztlicher Diamanten bei hohen und höchsten Umdrehungen.
Dtsch.Zahnärztl.Z. 77-80 (1960)
35. STÜBEN, J.: Grundlagen der Temperaturmessung im Zahn.
Dtsch.Zahnärztl.Z. 16, 314-316 (1961)
36. STÜBEN, J.: Experimentelle Untersuchungen über die Wärmeleitfähigkeit der Zahnhartsubstanzen sowie verschiedener zahnärztlicher Werkstoffe.
Dtsch.Zahnärztl.Z. 17, 25-31 (1962)

37. STÜBEN, J. u.
W.F. HOPPE: Experimentelle Untersuchungen über die Temperaturveränderungen in der Zahnhartsubstanz beim höchsttourigen Bohren und Schleifen.
Dtsch.Zahnärztl.Z. 17, 477-486 (1962)
38. STÜBEN, J. u.
W.F. HOPPE: Experimentelle Untersuchungen über die Veränderungen der Pulpa nach normal- und höchsttourigem Schleifen und Bohren im histologischen Bild.
Dtsch.Zahnärztl.Z. 19, 601-611 (1964)
39. VIOHL, J.: Die Vibrationsschwelle am menschlichen Zahn in
EICHNER, K.: Normal- hoch- und höchsttouriges Bohren und Schleifen von Zahnhartsubstanzen.
Carl Hanser Verlag, München, 124-133 (1966)
40. WALSER, G.: Experimentell-physikalische Untersuchungen über das Bohren und Schleifen mit turbinengetriebenen Instrumenten bei höchsten Drehzahlen.
Med.Diss. Mainz (1959)
41. WALTER, H.G. u.
G. LEINWEBER: Messungen mit Thermoelementen im Pulpenkavum extrahierter Zähne bei Airotor-Präparationen.
Schweiz.Mschr.Zahnheilk. 70, 415-423 (1960)

42. WALSH, J.P. u.
H. SYMMONS:

Vibration perception in teeth
during cavity preparation.

New Zealand Dent.J. 44, 39-43 (1948)

43. WEDER, M.:

Über die Veränderungen der Pulpa
des menschlichen Zahnes nach Be-
schleifen mit hohen Geschwindig-
keiten, in

EICHNER, K.:

"Normal-, hoch- und höchsttouriges
Bohren und Schleifen von Zahnhart-
substanzen."

Carl Hanser Verlag, München, 93-102
(1966)

Abb. 1a. Turbinenkopf, Zwei-Düsen-System, Seitenansicht

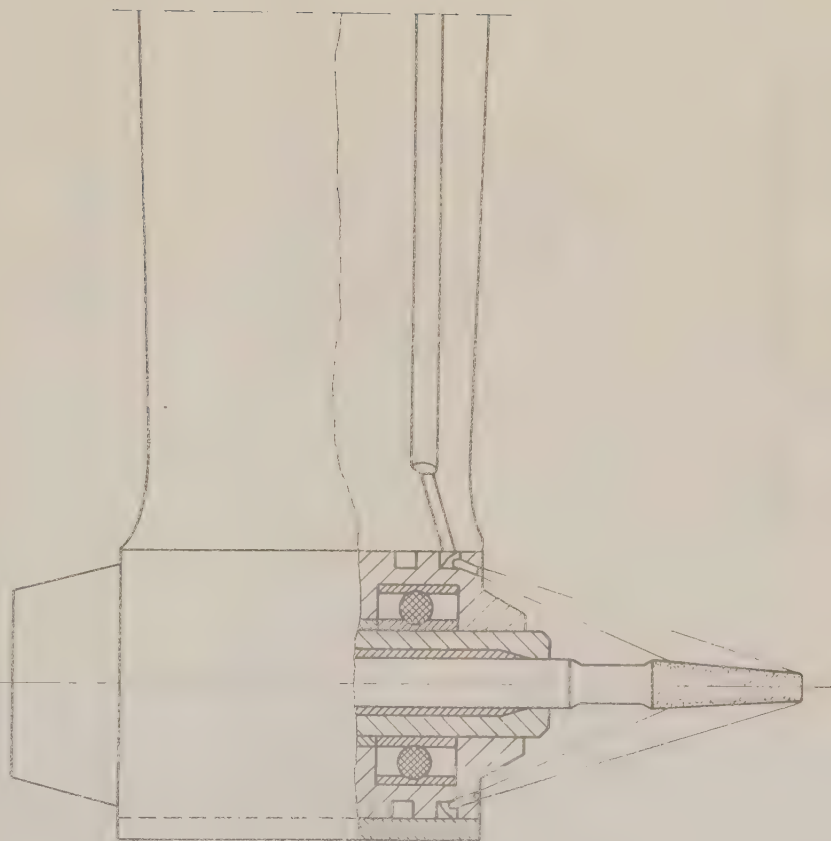


Abb. 2a. Turbinenkopf, Ein-Düsen-System, Seitenansicht

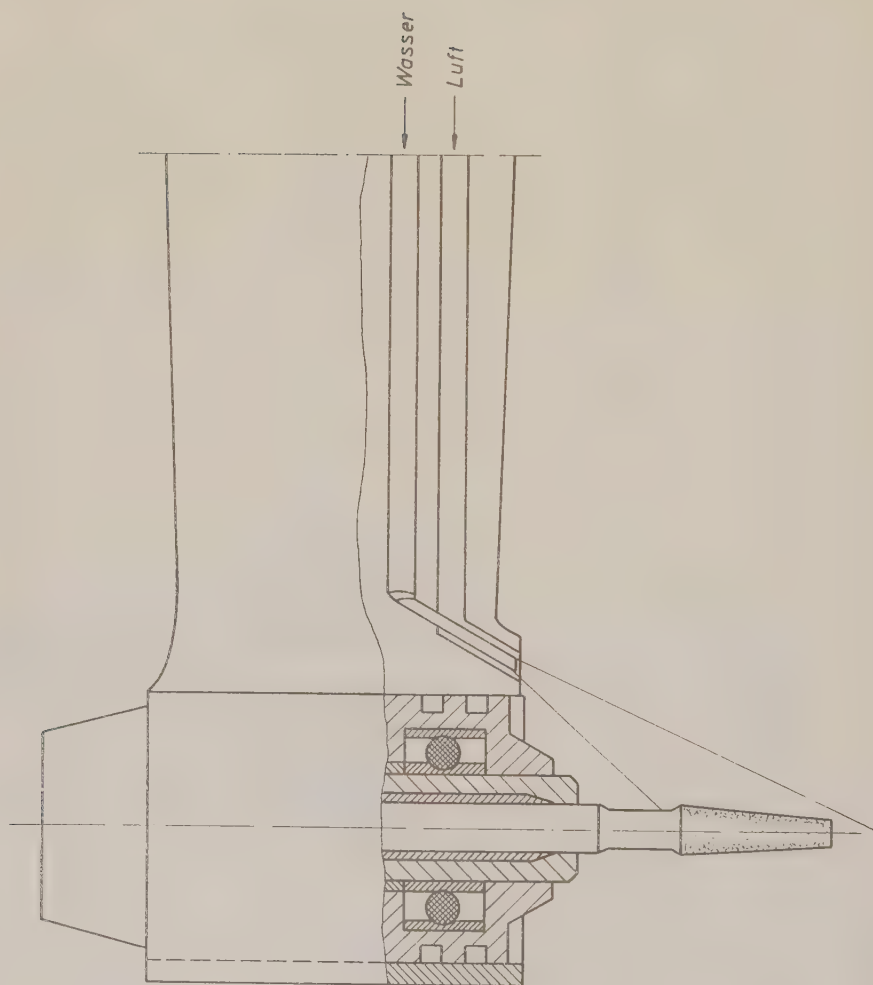


Abb. 2b. Turbinenkopf, Ein-Düsen-System,
Ansicht von unten

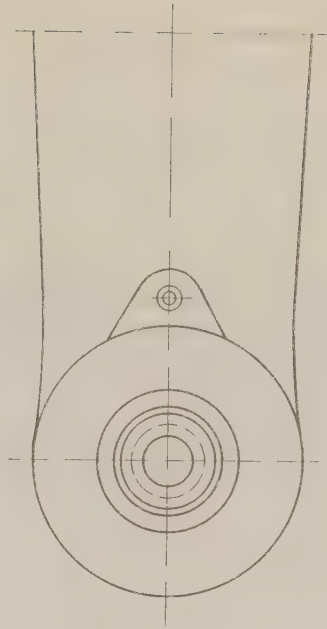


Abb. 1b. Turbinenkopf, Zwei-Düsen-System,
Ansicht von unten

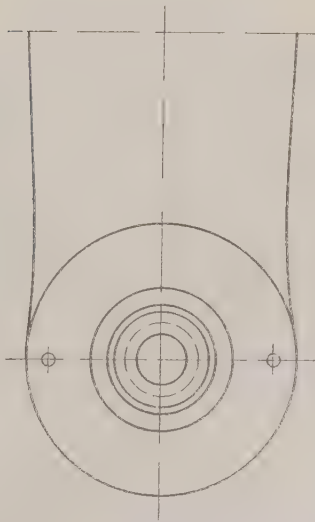
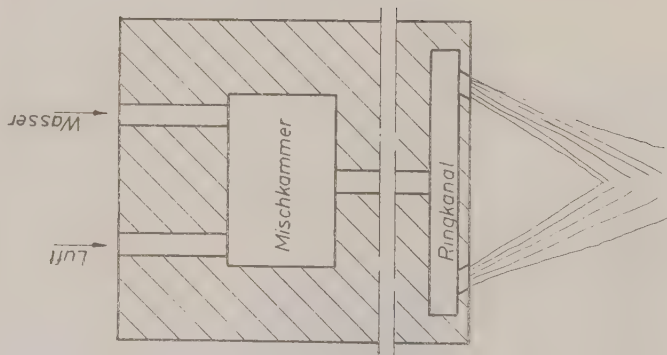
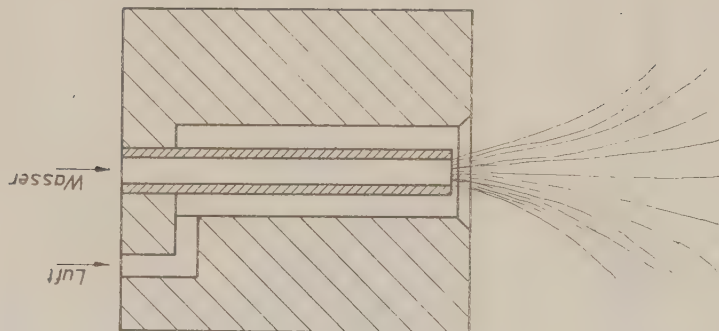


Abb. 3. Prinzip der Sprayerzeugung beim Ein- und Zwei-Düsen-System



Zwei-Düsen-Spray nach dem Mischkammerprinzip



Ein-Düsen-Spray nach dem Freistahlprinzip

Abb. 4. Idealisierte Drehmoment- und Leistungskennlinie einer Turbine

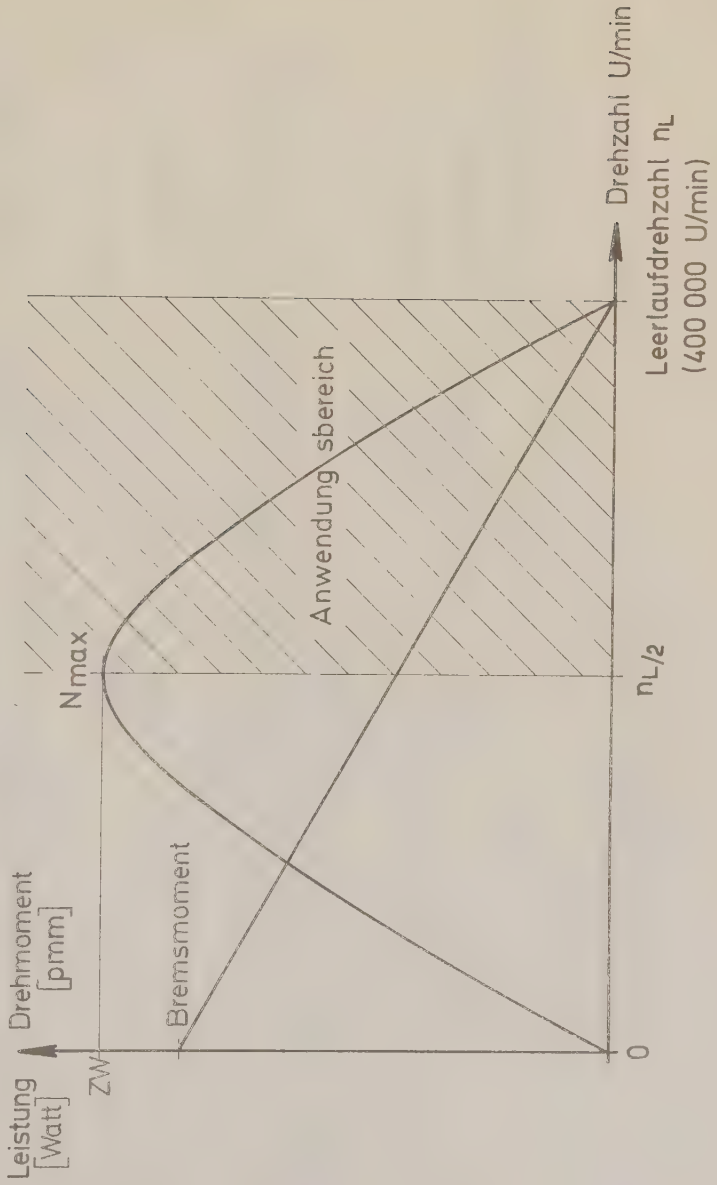


Abb. 5. Prinzip der Drehmomenten-Messung

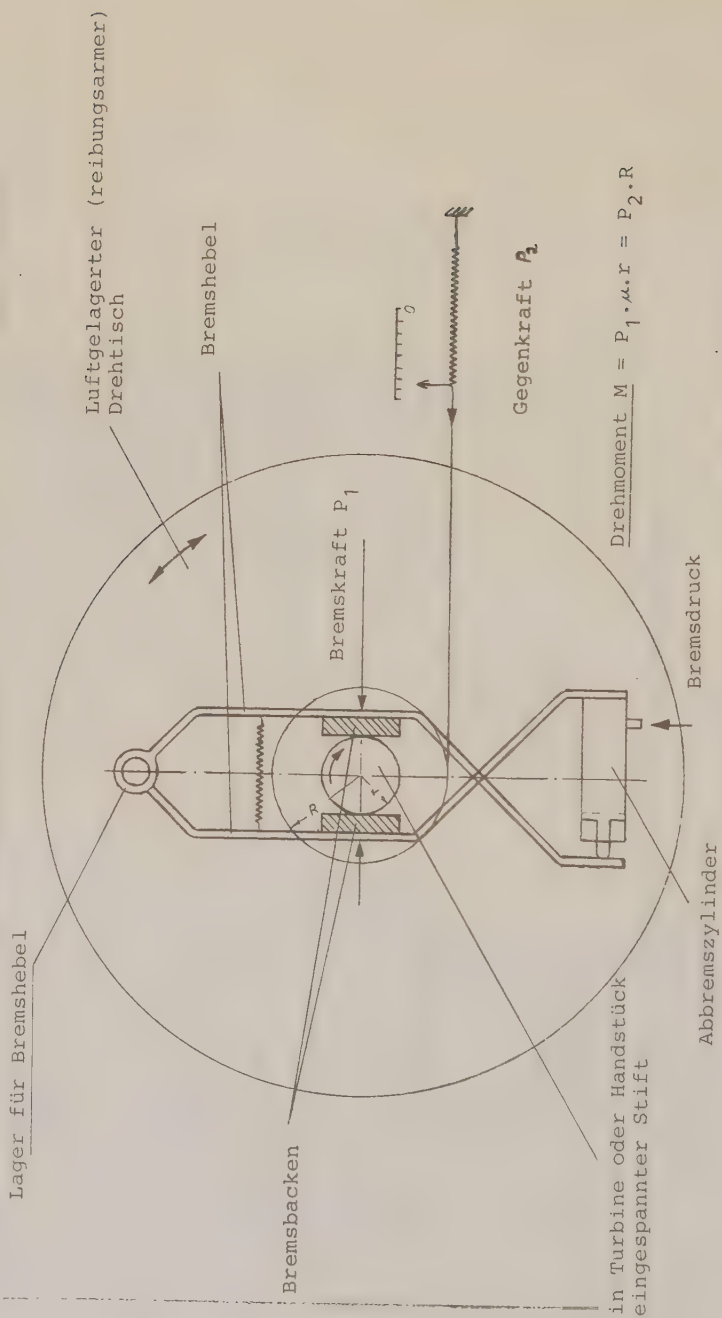
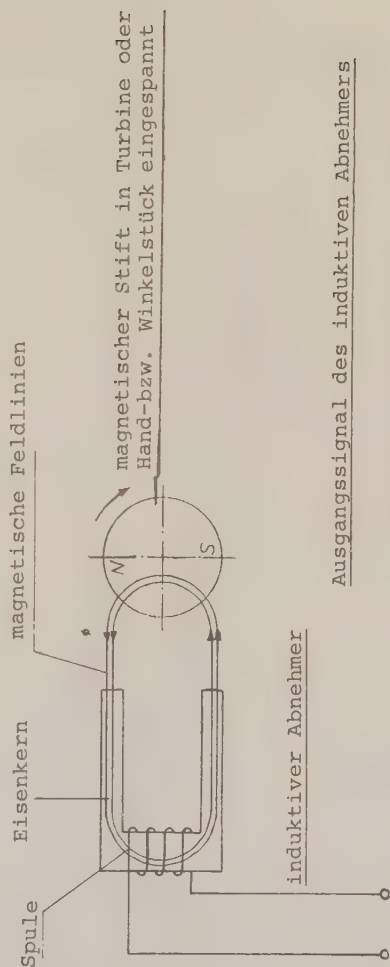
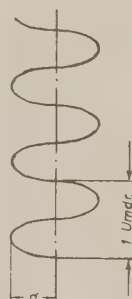


Abb. 6.

Prinzipbild: Erzeugung der drehzahlproportionalen Spannung zur Drehzahl-
anzeige



Ausgangssignal des induktiven Abnehmers



$$U = - \frac{d\phi}{dt} \cdot N$$

Abb. 7. Technisch-physikalische Versuchsanordnung
(ohne Thermoelemente und deren Meßgeräte)

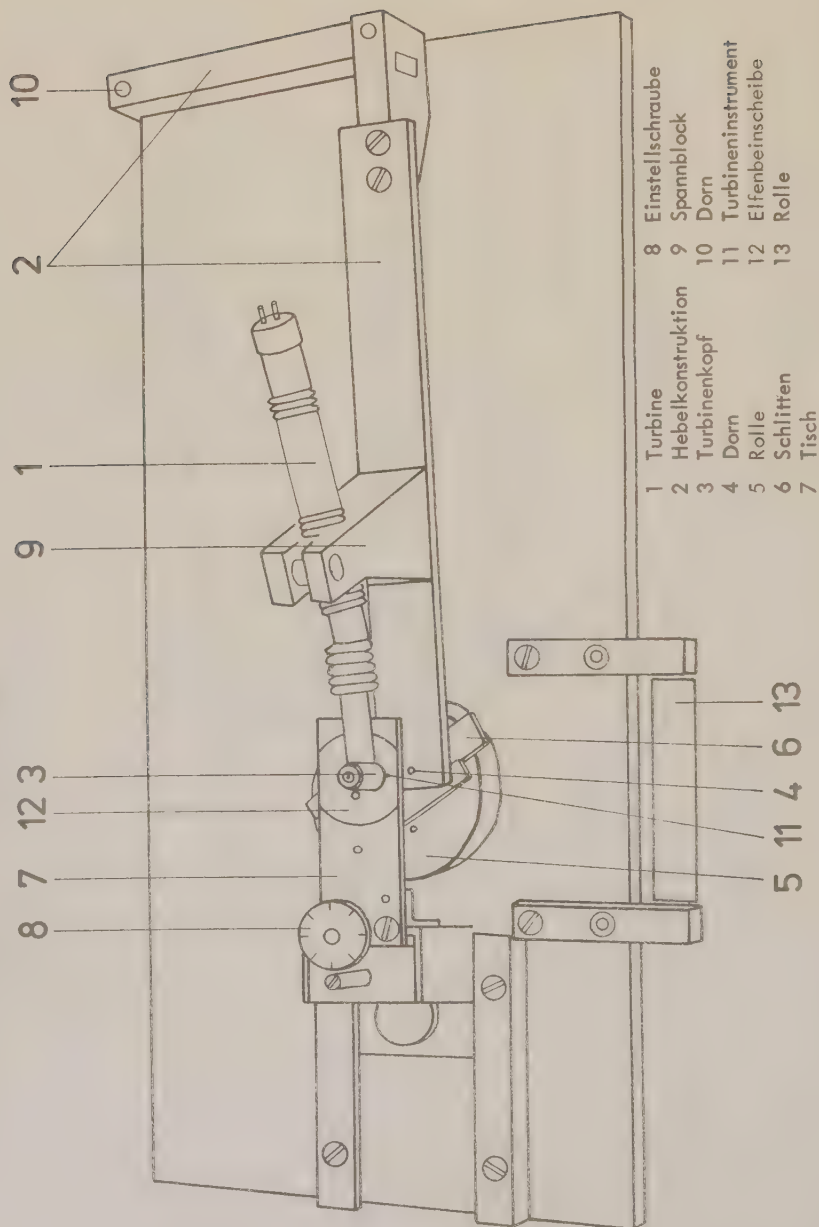


Abb. 8. Anordnung der Thermoelemente in der Elfenbeinscheibe

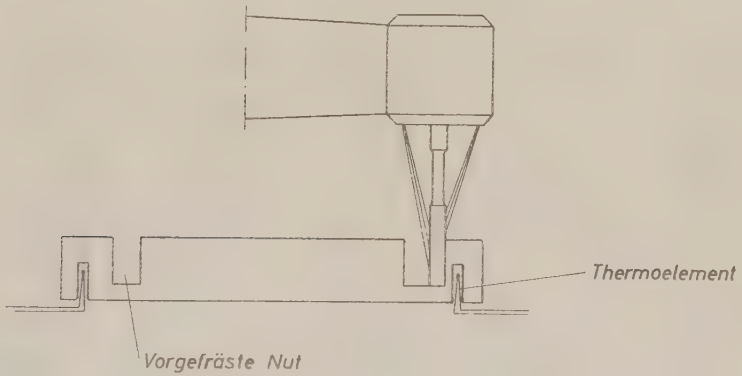


Abb. 9. Schaltplan eines Thermoelementes

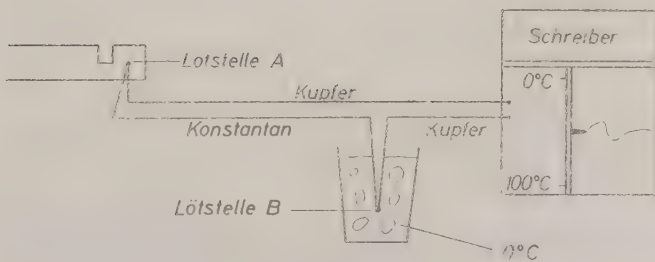


Abb. 10. Temperatur an einem Kavitätenboden gemessen durch Thermoelemente

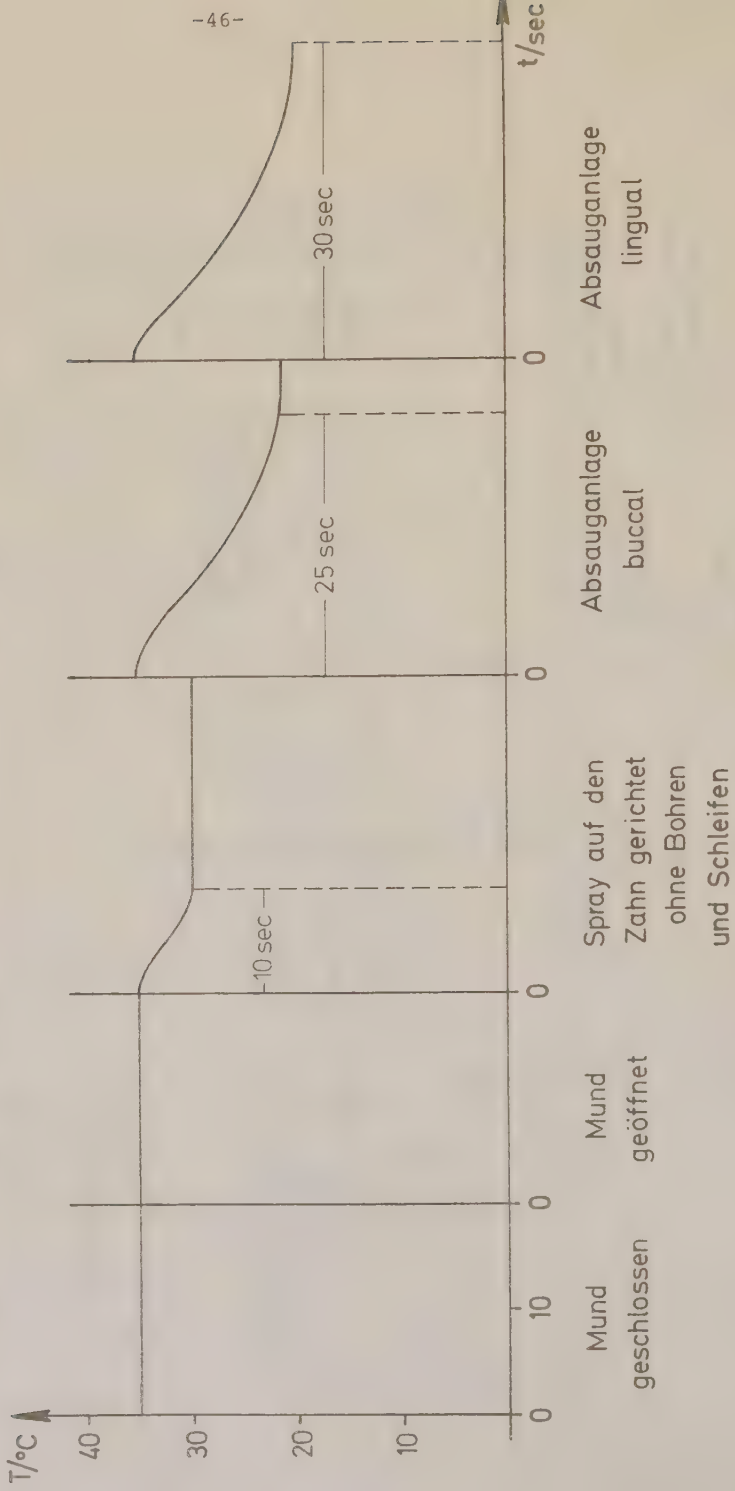
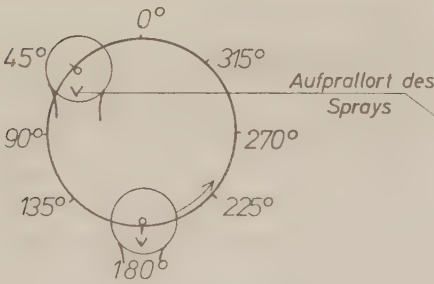


Abb. 11. Aufprallorte des Sprays

a) Eindüsensystem



b) Zweidüsensystem

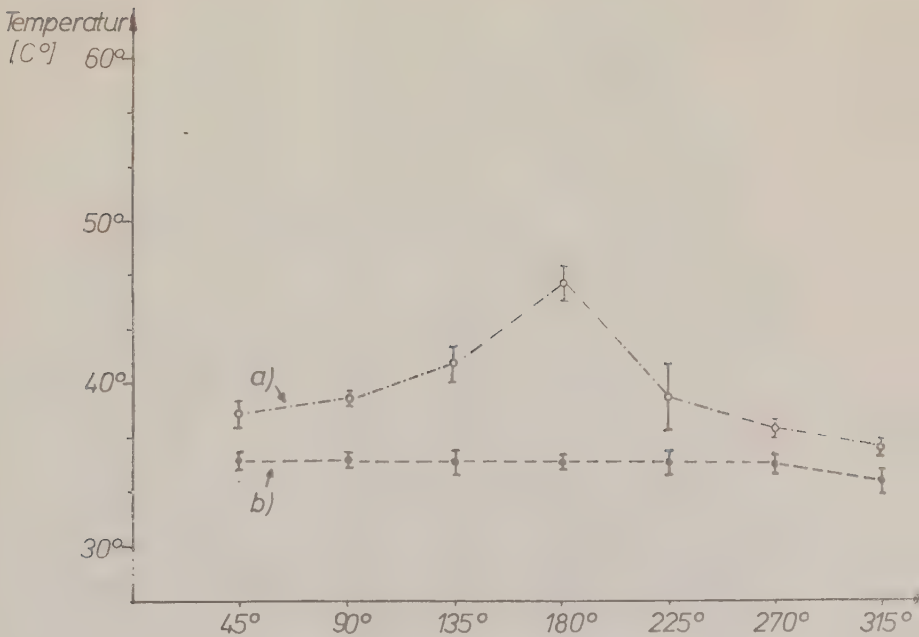
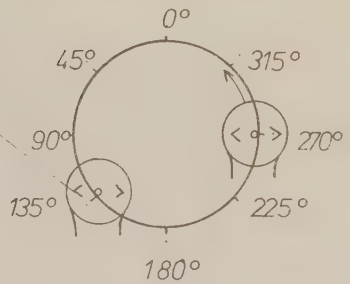


Abb. 12. Graphische Darstellung der Meßwerte der 1. Versuchsanordnung
(Mittelwerte mit Standardabweichungen)
a) Eindüsensystem b) Zweidüsensystem

Abb. 13. Lage der Thermoelemente im Zahn

(Thermoelement 1 und 2 im Dentin, Thermoelement 3 am Pulpdach)

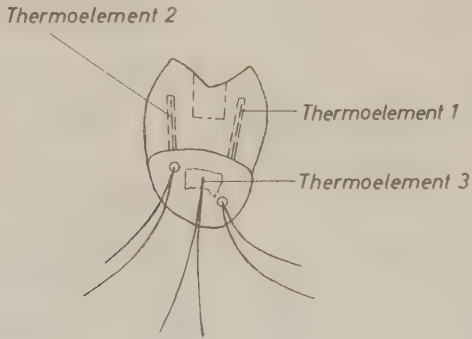


Abb. 14. Spannvorrichtung

- 1 Spannblock
- 2 Zahn
- 3 Auffangbecken für Spraywasser

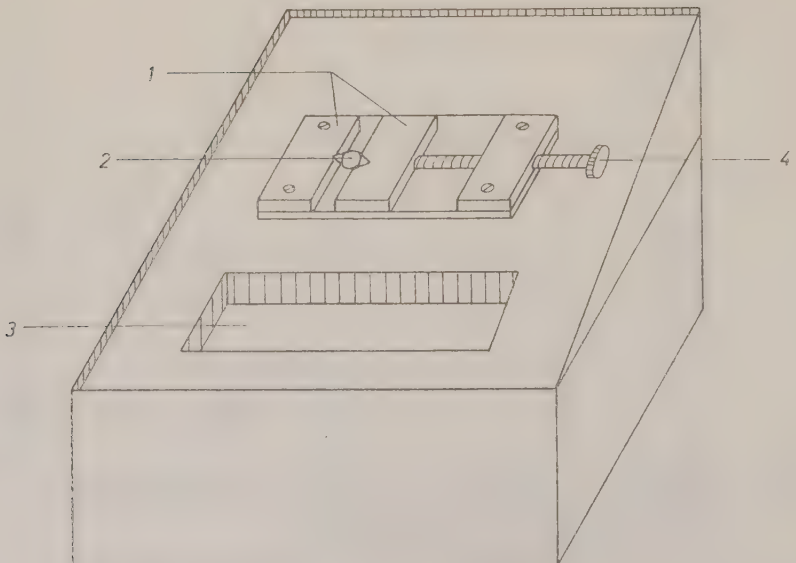


Tabelle 1

Meßergebnisse der 1. Versuchsreihe
Eindüsensystem

Temperaturerhöhung in °C

Meßorte in Winkelgraden

Ver- such	45	90	135	180	225	270	315
1	6	8	10	20	7	7	5
2	16	14	17	20	11	7	5
3	10	11	15	21	7	7	7
4	10	10	11	15	10	9	9
5	12	10	14	15	6	6	6
6	9	10	13	15	10	9	9
7	8	9	11	14	10	9	8
8	8	10	10	18	9	9	8
9	13	12	12	14	11	11	7
10	10	11	15	22	8	7	8
11	11	11	14	20	12	10	9
12	9	12	13	19	13	10	8
13	12	13	15	21	19	10	10
14	13	11	17	18	19	10	9
15	9	12	18	19	19	10	9
16	11	11	14	20	12	10	9
17	10	11	12	14	9	8	9
18	9	9	11	16	8	8	7
19	11	12	14	19	11	9	10
20	9	12	18	19	19	10	9
21	8	10	10	18	9	9	8
22	9	10	11	21	11	10	8
23	10	11	13	19	11	11	7
24	11	12	14	20	13	12	7
25	10	11	14	20	12	11	8
Σ	254	273	336	457	286	229	198
$\bar{x}$	10,1	10,9	13,4	18,3	11,4	9,2	8,0
s	2,0	1,3	2,4	2,5	3,8	1,5	1,3

Tabelle 2

Meßergebnisse der 1. Versuchsreihe
Zweidüsensystem

Temperaturerhöhung in °C

Ver- such	Meßorte in Winkelgraden						
	45	90	135	180	225	270	315
1	5	5	6	4	6	4	4
2	3	4	3	3	5	4	4
3	4	4	5	4	4	4	3
4	5	4	3	5	4	4	3
5	4	5	3	4	3	4	5
6	4	5	3	5	4	4	3
7	3	3	4	5	4	3	3
8	4	4	5	6	5	4	4
9	5	4	5	6	5	4	4
10	5	5	5	4	5	4	5
11	4	5	4	4	4	5	4
12	5	4	5	5	5	4	4
13	5	4	4	4	4	5	5
14	4	4	5	6	4	5	5
15	5	5	5	4	4	5	4
16	4	5	4	5	5	5	4
17	4	5	5	4	5	5	4
18	5	5	6	5	5	4	5
19	6	4	5	6	6	5	4
20	4	5	5	5	5	5	4
21	5	6	6	5	6	6	5
22	5	5	6	5	6	5	5
23	5	5	6	5	6	5	5
24	5	5	6	5	6	6	7
25	5	5	6	5	7	6	6
Σ	113	115	120	119	123	115	109
$\bar{x}$	4,5	4,6	4,8	4,8	4,9	4,6	4,3
s	0,7	0,6	1,0	0,8	1,0	0,8	1,0

Tabelle 3. Ergebnis der 1. Versuchsreihe

a) Eindüsen-system

n	Messort ^{x)}	$\bar{x}$	s
25	45°	10°	2,3
	90°	11°	1,3
	135°	13°	2,4
	180°	18°	2,5
	225°	11°	3,8
	270°	9°	1,5
	315°	8°	1,5

b) Zweidüsen-system

n	Messort ^{x)}	$\bar{x}$	s
25	45°	5°	0,7
	90°	5°	0,6
	135°	5°	1,0
	180°	5°	0,8
	225°	5°	1,0
	270°	5°	0,8
	315°	4°	1,0

t-Test für unverbundene Stichproben

Meßort ^{x)}	t-Wert	Testergebnis
45°	11,5	++
90°	21,51	++
135°	16,45	++
180°	25,9	++
225°	8,26	++
270°	13,48	++
315°	11,0	++

$$t_{\text{tab.1\%}} \quad \text{FG 48} = 2,726$$

- n = Anzahl der Einzelmessungen
 $\bar{x}$ = Mittelwert der Temperaturerhöhungen in °C
 s = Standardabweichung
 $x)$ = in Winkelgraden

Tabelle 4. Varianzanalyse

Art der Streuung	Summe der Abweichungs- quadrate	Zahl der Freiheitsgrade	Mittelwert der Abweichungs- quadrate	F-Wert	Test- ergebnis
zwischen den Meßsorten	1744,34	6	290,72	55,45	++
innerhalb der Meßsorte	880,74	168	5,24		
insgesamt	2625,08	174	295,96		

Tabelle 4a. Test nach Scheffé

Messort $\rightarrow$	45°	90°	135°	180°	225°	270°
$\downarrow$						
90°	$\emptyset$					
135°	++	+				
180°	++	++	++			
225°	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	++		
270°	$\emptyset$	$\emptyset$	++	++	$\emptyset$	
315°	$\emptyset$	++	++	++	++	$\emptyset$

$\therefore \emptyset$ - Testergebnis negativ

+

 - statistisch auffällig, 5% Niveau

- " " signifikant, 1% Niveau

Tabelle 5 Meßergebnisse der 2. Versuchsreihe
Eindüsenspray

Temperaturerhöhungen in °C

Ver- such	letzte TE ₁ TE ₂		2.letzte TE ₁ TE ₂		3.letzte TE ₁ TE ₂		4.letzte TE ₁ TE ₂		5.letzte TE ₁ TE ₂	
1	3	2	2	1	1	1	-	-	-	-
2	2	4	1	1	1	1	-	-	-	-
3	3	4	2	2	1	1	-	-	-	-
4	3	2	2	1	1	1	-	-	-	-
5	4	3	3	1	2	1	2	-	-	-
6	3	5	2	3	1	2	-	1	-	-
7	2	2	1	1	-	-	-	-	-	-
8	3	3	1	1	-	-	-	-	-	-
9	3	4	2	1	1	1	-	-	-	-
10	4	2	1	1	1	1	-	-	-	-
11	3	4	2	1	1	1	-	-	-	-
12	3	4	2	2	1	-	-	-	-	-
13	3	3	2	2	1	1	-	-	-	-
14	4	4	3	2	1	1	-	-	-	-
15	3	4	3	3	1	1	-	-	-	-
16	2	3	2	2	1	1	-	-	-	-
17	3	4	3	3	2	1	1	1	-	-
18	4	3	3	2	1	1	1	-	-	-
19	3	3	2	2	1	1	1	-	-	-
20	4	4	3	3	1	2	-	1	-	-
21	3	4	2	3	1	1	-	1	-	-
22	2	3	2	2	1	1	1	1	-	-
23	2	4	2	3	1	3	-	1	-	-
24	3	3	2	1	1	1	1	-	-	-
25	2	4	1	3	1	1	-	1	-	-
Σ	74	85	51	47	25	26	-	-	-	-
$\bar{x}$	3,0	3,4	2,0	1,9	1,0	1,0	-	-	-	-
s	0,7	0,8	0,7	0,8	0,4	0,6	-	-	-	-

Tabelle 6

Meßergebnisse der 2. Versuchsreihe

Zweidüsenspray

Temperaturerhöhungen in °C

Ver- such	letzte		2.letzte		3.letzte		4.letzte		5.letzte	
	TE ₁	TE ₂	TE ₁	TE ₂	TE ₁	TE ₂	TE ₁	TE ₂	TE ₁	TE ₂
1	2	3	1	1	1	-	-	-	-	-
2	1	3	1	1	-	-	-	-	-	-
3	2	3	1	1	1	1	-	-	-	-
4	3	2	2	1	1	-	-	-	-	-
5	3	2	2	1	-	-	-	-	-	-
6	2	1	1	-	1	-	-	-	-	-
7	2	3	2	1	1	1	1	-	-	-
8	2	1	1	1	1	-	-	-	-	-
9	3	3	2	2	1	2	-	1	-	-
10	1	2	1	1	-	1	-	-	-	-
11	4	3	3	2	2	1	-	-	-	-
12	3	4	1	2	1	1	-	-	-	-
13	2	4	2	3	2	2	-	-	-	-
14	4	2	3	2	1	1	-	-	-	-
15	2	3	2	1	1	-	-	-	-	-
16	3	2	2	2	1	1	-	-	-	-
17	2	3	1	1	1	-	-	-	-	-
18	3	2	2	1	1	-	-	-	-	-
19	1	2	1	2	-	-	-	-	-	-
20	2	4	1	1	-	1	-	-	-	-
21	3	2	1	2	-	1	-	-	-	-
22	2	2	2	1	1	-	1	-	-	-
23	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-
24	1	2	1	2	-	-	-	-	-	-
25	1	2	1	1	-	-	-	-	-	-
Σ	55	61	38	34	18	13	-	-	-	-
$\bar{x}$	2,1	2,4	1,5	1,4	1,1	1,2	-	-	-	-
s	0,9	0,9	0,7	0,6	0,3	0,4	-	-	-	-

Tabelle 7. Ergebnis der 2. Versuchsreihe

a) Eindüsenystem

n	Messort	verbliebene Wandstärke	$\bar{x}$	s
25	Pulpa	1-1,5 mm	-	-
	1	0,5-0,7 "	1°	0,4
	2		1°	0,6
	1	0,3-0,4 "	2°	0,6
	2		2°	0,8
	1	-0,1 "	3°	0,6
	2		3°	0,8

b) Zweidüsenystem

n	Messort	verbliebene Wandstärke	$\bar{x}$	s
25	Pulpa	1-1,5 mm	-	-
	1	0,5-0,7 "	1°	0,3
	2		1°	0,4
	1	0,3-0,4 "	2°	0,6
	2		1°	0,6
	1	-0,1 "	2°	0,9
	2		2°	0,8

n - Anzahl der Einzelmessungen pro Messort

$\bar{x}$ - Mittelwert der Temperaturerhöhungen

s - Standardabweichung

An dieser Stelle sei es mir gestattet, Herrn Professor Dr.Dr. W. Ketterl für die Überlassung des Themas dieser Arbeit und für die jederzeit freundliche Unterstützung zu danken.

Zudem bedanke ich mich bei der Firma Siemens, Bensheim, für die Zusammenstellung und Überlassung der Versuchsanordnung.

Meinen ganz besonderen Dank möchte ich Herrn Dr. Lampert für seine persönliche Unterstützung bei der Durchführung meiner Arbeit aussprechen.

Bei Frau Dr. Ehrenberg-Kiekebusch bedanke ich mich für die Hilfe bei der statistischen Auswertung der Versuchsergebnisse.

LEBENS LAUF

Am 26.5.1948 wurde ich in Wenzen/Niedersachsen als drittes Kind des Oberforstmeisters Helmut Hahne und seiner Ehefrau Else Hahne geboren.

Von 1954-59 besuchte ich die Grundschule in Wenzen und von 1959 bis zum bestandenen Abitur im Mai 1967 das Gymnasium in Einbeck/Niedersachsen.

Im Wintersemester 1967/68 und im Sommersemester 1968 studierte ich Naturwissenschaften an der Universität Marburg. Im Wintersemester 1968/69 begann ich mein Zahnmedizin-Studium an der Universität Marburg. Dort bestand ich die Naturwissenschaftliche Vorprüfung im März 1969 und die Zahnärztliche Vorprüfung im März 1971. Im Rahmen eines Studienplatztausches wechselte ich zur Universität Mainz. Dort erhielt ich nach Bestehen der Zahnärztlichen Prüfung am 31. Oktober 1973 die Bestellung als Zahnarzt. Seit dem 1. Mai 1974 bin ich als Assistent in der Poliklinik für Zahnerhaltungskunde der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der Johannes Gutenberg-Universität Mainz tätig.

Am 13. Juni 1975 heiratete ich Fräulein Ingrid Hermreck aus Gütersloh.

